Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 4, Winter. 2021, p. 435-449

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، ص. ۴۴۹-۴۳۵

مقاله پژوهشی

# عملکرد و اجزای عملکرد تریتیکاله تحت تاثیر کاربرد برگی سیلیکون، کود نیتروژن و تنش آبی در مرحله‌ی زایشی

وحید براتی[۱*]، احسان بیژن‌زاده[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۱۴

## چکیده

این آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب- دانشگاه شیراز انجام طی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ شد. تیمارها شامل دو سطح آبیاری [مطلوب: آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک و تنش آبی: آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه تا انتهای مرحله گل‌دهی] به‌عنوان کرت‌های اصلی و دو سطح کاربرد برگی سیلیکون [صفر میلی‌مولار (شاهد) و ۳ میلی‌مولار] و سه سطح کود نیتروژن [صفر کیلوگرم نیتروژن بر هکتار (شاهد)، کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار و کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار] که به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج این آزمایش نشان داد که تنش آبی تعداد پنجه بارور در متر مربع، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه را کاهش داد. اما، این کاهش در وزن هزار دانه شدید و در بالاترین سطح کود نیتروژن در مقایسه با سایر سطوح نیتروژن بیشترین (۳۶ درصد) بود. همچنین، تنش آبی عملکرد دانه را در سطوح مختلف نیتروژن به‌طور متفاوتی کاهش داد (۲۴، ۲۶ و ۴۶ درصد کاهش به‌ترتیب در شاهد، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار) و بیشترین مقدار کاهش در شرایط استفاده از بالاترین سطح کاربرد کود نیتروژن رخ داد. کاربرد برگی سیلیکون سبب کاهش اثرات تنش و در نتیجه بهبود وزن هزار دانه، شاخص کلروفیل، عملکرد زیست‌توده و در نهایت شاخص برداشت و عملکرد دانه شد. بیشترین عملکرد دانه (۵۰۲۱ کیلوگرم بر هکتار) مربوط به تیمار آبیاری مطلوب و کاربرد سیلیکون بود و کمترین عملکرد دانه (۲۸۶۰ کیلوگرم بر هکتار) در تیمار تنش آبی و عدم استفاده سیلیکون به‌دست آمد. به‌طور کلی، کاربرد برگی سیلیکون در مرحله‌ی گلدهی قابل توصیه است. همچنین، با توجه به افزایش حساسیت بوته‌ها به تنش آبی در سطوح بالای کود نیتروژن، کاربرد سطح ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در شرایط قطع آبیاری پس از گلدهی توصیه می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** شاخص برداشت، عملکرد زیست‌توده، کلروفیل، وزن هزار دانه

## مقدمه

در مناطق گرم و خشک ایران از جمله جنوب استان فارس که با محدودیت منابع آب‌های زیرزمینی و بارندگی روبه‌رو هستند، مراحل زایشی تریتیکاله (*Triticosecale* Wittmack) تحت تاثیر تنش آبی قرار می‌گیرد. همچنین، عنصر نیتروژن نیز از عوامل محدودکننده عملکرد در مناطق جنوبی ایران است. پاسخ غلات به کوددهی نیتروژن بیش از آن‌که به مقدار و زمان کاربرد کود وابسته باشد، با قابلیت دسترسی به آب در خاک، مقدار و توزیع بارندگی رابطه مستقیم دارد (Barati *et al*., 2015). پژوهشگران زیادی اثبات کرده‌اند که رشد و نمو در مراحل اولیه زندگی غلات، مانند مرحله‌ی تولید پنجه، وابسته به فراهمی آب و نیتروژن است. همچنین، کمبود آب در مراحل گلدهی و پر شدن دانه‌ها سبب عقیمی گلچه‌ها و در نهایت کاهش تعداد دانه در سنبله، تولید پنجه‌های نابارور و کاهش وزن تک دانه‌ها می‌شود (Barati *et al*., 2016; Hay and Walker, 1989). بنابراین، درک برهمکنش قابلیت دسترسی به آب و نیتروژن در خاک به‌ویژه در رابطه با گیاه تازه معرفی شده‌ی تریتیکاله به کشاورزان جنوب ایران برای دسترسی به ثبات عملکرد در این مناطق مهم است.

به‌طور سنتی کشاورزان مناطق جنوبی ایران برای دستیابی به عملکرد بالا، حداکثر کود نیتروژن توصیه شده را به‌کار می‌برند و یا حتی تحت تاثیر عرف منطقه بیش از نیاز نیتروژنی گیاه از کود نیتروژن استفاده می‌کنند. کاربرد سطوح بالای کود نیتروژن در مناطقی که با عدم اطمینان در فراهمی آب برای آبیاری در مراحل پس از گلدهی مواجه هستند، علاوه بر افزایش هزینه‌ها ممکن است با اثرات نامطلوبی در عملکرد نهایی غلات همراه باشد (Ercoli *et al*., 2008; Barati *et al*., 2015). بر اساس نظر برخی از پژوهشگران از جمله فردریک و کامبراتو (Frederick and Camberato, 1995) در شرایط مطلوب رطوبتی بالاترین عملکرد دانه گندم نان (*Triticum*

۱- استادیار گروه اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، شیراز
۲- دانشیار گروه اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، شیراز
(*- نویسنده مسئول: Email: v.barati@shirazu.ac.ir)
DOI: 10.22067/jcesc.2020.88386

*aestivum* L.) با مصرف مقدارهای بالای کود نیتروژن به‌دست آمد. اما، در شرایط تنش آبی کاربرد سطوح بالای نیتروژن سبب افزایش حساسیت به تنش آبی و کاهش عملکرد دانه شد. ون هرواردن و همکاران (Van Herwaarden *et al*., 1998) این حساسیت گیاهان دریافت‌کننده‌ی سطوح بالای کود نیتروژن به تنش آبی را به تعرق بیشتر به‌واسطه‌ی رشد رویشی زیاد و تخلیه‌ی بیشتر رطوبت از پروفایل خاک نسبت دادند.

در شرایط عدم اطمینان از فراهمی آب برای آبیاری در مراحل پس از گلدهی، کشاورزان همواره با این تردید روبه‌رو هستند که کود نیتروژن را به مقدار حداکثر ممکن (با توجه به آزمون خاک یا عرف منطقه) برای شرایط مطلوب رطوبتی به‌کار ببرند و یا این‌که مقدار مصرف کود نیتروژن را کمتر از مقدار توصیه شده برای شرایط تنش آبی استفاده کنند. یکی از راه‌های که ممکن است قابل پیشنهاد باشد این است که کشاورزان مقدار بهینه‌ی کود نیتروژن را برای شرایط مطلوب رطوبتی در مراحل رشد رویشی غلات به‌کار ببرند. اما، اگر با کمبود آب برای آبیاری در مراحل پس از گلدهی روبه‌رو شدند، با کاربرد مواد شیمیایی کاهنده‌ی سطح تنش مانند سیلیکون اثرات مخرب تنش تشدید شده به‌واسطه‌ی استفاده از سطوح بالای کود نیتروژن را کاهش دهند. به عبارت دیگر، کشاورزان با کاربرد سیلیکون از کاهش شدید عملکرد در سطوح بالای کود نیتروژن ممانعت کنند.

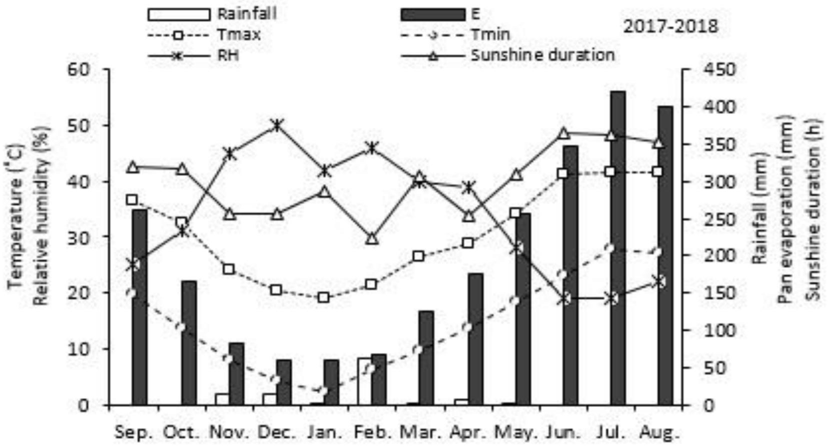
کاربرد سیلیکون می‌تواند اثرات مخرب تنش‌های غیر زنده از جمله تنش خشکی را به‌وسیله‌ی سازوکارهای فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و فیزیکی کاهش دهد. به‌عنوان مثال، برخی از پژوهشگران (Hattori *et al*., 2005) نشان داده‌اند که استفاده از سیلیکون کاهش میزان آسیمیلاسیون خالص گیاه سورگوم در اثر تنش آبی را نسبت به شرایط عدم استفاده از آن کمتر کرد. همچنین، آن‌ها مشاهده کردند که کاهش نسبت شاخساره به ریشه و افزایش تجمع ماده‌ی خشک ریشه در سورگوم تیمار شده با سیلیکون رخ داد. کاهش نسبت شاخساره به ریشه سبب کاهش تعرق و افزایش محتوای نسبی آب گیاه شده و سبب کاهش کمتر عملکرد دانه به‌واسطه‌ی تنش خشکی خواهد شد (Hattori *et al*., 2005). به‌علاوه، گانگ و همکاران (Gong *et al*., 2005) نشان دادند که تنش خشکی میزان فتوسنتز را در گندم کاهش داد. اما، استفاده از سیلیکون آن را به حد مطلوب رساند. آن‌ها بهبود فتوسنتز توسط سیلیکون را به عوامل غیر روزنه‌ای موثر در فتوسنتز نسبت دادند.

با وجود این‌که مواد شیمیایی کاهنده‌ی اثرات نامطلوب تنش آبی از جمله سیلیکون ممکن است در کاهش دغدغه کشاورزان جنوب استان فارس جهت مصرف کود نیتروژن در شرایط تنش خشکی نقش به‌سزایی داشته باشد، پژوهش جامعی که به بررسی اثر کود نیتروژن و کاربرد برگی سیلیکون در شرایط تنش آبی پس از گلدهی در غلات به‌ویژه گیاه تریتیکاله در مناطق جنوبی ایران بپردازد، بسیار کمیاب است. بنابراین، این پژوهش به بررسی اثر برهمکنش سطوح مختلف کود نیتروژن و سیلیکون بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد دانه‌ی تریتیکاله در شرایط تنش آبی انتهای فصل پرداخته است.

## مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب- دانشگاه شیراز (طول جغرافیای °۵۴ و ′۳۰ شرقی و عرض جغرافیایی °۲۸ و ′۵۰ شمالی و با ارتفاع ۱۱۸۰ متری از سطح دریا) در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در منطقه‌ی داراب استان فارس اجرا شد. منطقه داراب دارای آب و هوای خشک است. میانگین دراز مدت بارندگی سالیانه‌ی این منطقه ۲۵۰ میلی‌متر است، که این مقدار بارندگی عمدتاً در مرحله رشد رویشی غلات در فصل پاییز و زمستان رخ می‌دهد. شرایط آب و هوایی منطقه در سال ۹۷-۱۳۹۶ در شکل ۱ آمده است. به منظور بررسی ویژگی‌های خاک، نمونه‌ای مرکب (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر) از خاک مزرعه به‌طور تصادفی برداشته شد و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن اندازه‌گیری شد. جدول ۱ نتایج آزمون خاک را نشان می‌دهد.

این آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارها در این آزمایش شامل: دو سطح آبیاری به‌عنوان عامل اصلی [۱- آبیاری بدون تنش آبی (مطلوب): آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک و ۲- آبیاری با تنش آبی (کم آبیاری): آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه تا انتهای مرحله‌ی گلدهی (قطع آبیاری پس از مرحله گلدهی)] بود. همچنین، عامل فرعی اول شامل سه سطح کود نیتروژن به‌صورت اوره (۴۶ درصد نیتروژن) [۱- صفر کیلوگرم نیتروژن بر هکتار (شاهد)، ۲- کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار، ۳- کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار] و عامل فرعی دوم شامل دو سطح کاربرد سیلیکون [صفر و ۳ میلی‌مولار] بود. کود نیتروژن در سه مرحله [سه برگی (کد زیداکس ۱۳)، پنجه‌زنی (کد زیداکس ۲۳) و ساقه رفتن (کد زیداکس ۳۱)] (Zadoks *et al*., 1974) و به مقدار مساوی به خاک مزرعه افزوده شد. کاربرد سیلیکون در اواسط مرحله‌ی گلدهی (ZGS65) (Zadoks *et al*., 1974) انجام شد. در زمان اعمال تیمار سیلیکون، به‌منظور جلوگیری از اثرات جانبی جذب آب در این تیمار، کرت‌های شاهد نیز با آب معمولی بدون سیلیکون با حجمی معادل تیمار سیلیکون محلول‌پاشی شدند.




**شکل ۱- بارندگی ماهیانه، تبخیر از تشت تبخیر، طول دوره روشنایی، میانگین کمینه و بیشینه‌ی دمای هوا و رطوبت نسبی در طول سال زراعی ۱۳۹۷- ۱۳۹۶**

**Figure 1- Monthly rainfall, pan evaporation (E), sunshine duration, mean minimum and maximum air temperatures ($T_{min}$ and $T_{max}$, respectively) and relative humidity (RH) during 2017- 2018 growing season**

**جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر**

**Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil in 0-30 cm depth**

| Characteristics | ویژگی | واحد Unit | مقدار Amount |
|---|---|---|---|
| Sand | شن | % | 38.67 |
| Silt | سیلت | % | 44.54 |
| Clay | رس | % | 16.79 |
| O.C | کربن آلی | % | 0.99 |
| O.M | ماده آلی | % | 1.70 |
| EC | قابلیت هدایت الکتریکی | $dS.m^{-1}$ | 1.08 |
| pH | اسیدیته | | 7.47 |
| Total N | نیتروژن کل | % | 0.09 |
| Available K | پتاسیم قابل‌دسترس | $mg.kg^{-1}$ | 325 |
| Available P | فسفر قابل‌دسترس | $mg.kg^{-1}$ | 11 |
| Fe | آهن | $mg.kg^{-1}$ | 5.55 |
| Mn | منگنز | $mg.kg^{-1}$ | 16.31 |
| Cu | مس | $mg.kg^{-1}$ | 1.46 |
| Zn | روی | $mg.kg^{-1}$ | 0.73 |

جهت آماده‌سازی کرت‌ها و جلوگیری از نشت جانبی آب و کود نیتروژن اطراف هر کرت فرعی پشته‌ای به عرض نیم متر ایجاد شد. برای اطمینان بیشتر از عدم حرکت جانبی آب، فاصله‌ی بین کرت‌های اصلی (آبیاری مطلوب و تنش آبی) دو متر در نظر گرفته شد. اندازه‌ی کرت‌های فرعی ۳/۵×۲ مترمربع بود. با توجه به نتایج آزمون خاک کود سوپر فسفات تریپل (۶۰ کیلوگرم بر هکتار) قبل از کاشت به‌صورت نواری زیر بذر استفاده شد. بذر تریتیکاله (رقم سناباد) از موسسه تحقیقات، اصلاح و تهیه نهال و بذر (ایستگاه حسن آباد داراب) تهیه و با توجه به تاریخ بهینه کاشت در منطقه (نیمه دوم آذرماه) در ۲۰ آذر در ردیف‌های به فاصله ۲۵ سانتی‌متر در ۶ ردیف به طول ۳ متر بر اساس مقدار توصیه شده (۴۵۰ بذر در متر مربع) کاشته شد.

جهت آبیاری زمین، قبل از هر آبیاری در کرت‌های مربوط به تیمار آبیاری مطلوب، محتوای رطوبتی خاک به‌وسیله روش وزنی (Alizadeh, 2001) در فواصل ۳۰ سانتی‌متری تا عمق ۶۰ سانتی‌متری خاک اندازه‌گیری شد. در این روش از عمق‌های اشاره شده نمونه‌ای با مته برداشت شد و پس از وزن کردن نمونه‌ی مرطوب، آن را به مدت ۲۴ ساعت در آون (دمای ۱۰۵ درجه

سانتی‌گراد) قرار دادیم تا خشک شود. پس از خشک شدن و وزن کردن دوباره، مقدار رطوبت خاک اندازه‌گیری شد (Alizadeh, 1999). درصد حجمی رطوبت خاک در حالت ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم به روش‌های آزمایشگاهی و مزرعه‌ای اندازه‌گیری شدند. محتوای حجمی رطوبت خاک در حالت ظرفیت مزرعه‌ای در عمق‌های ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری به‌ترتیب ۰/۲۲ و ۰/۲۱ سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب بود. همچنین، محتوای حجمی رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم در عمق‌های ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری به‌ترتیب ۰/۱۱ و ۰/۱۰ سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب بود. مقدار آب قابل دسترس از تفاضل مقدار رطوبت در حالت ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم به‌دست آمد (Hanson *et al*., 2004; Alizadeh, 1999). حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی بر اساس گزارش فائو ۵۶ (Allen *et al*., 1998) برابر با ۵۵ درصد از کل آب قابل دسترس در فصل رشد در نظر گرفته شد. بنابراین، هنگامی‌که مقدار آب قابل دسترس خاک به کمتر از ۵۵ درصد از آن رسید، آبیاری انجام گرفت و رطوبت عمق ۰ تا ۶۰ سانتی‌متری خاک به ظرفیت مزرعه رسانده شد. مقدار آب مورد نیاز به‌وسیله رابطه (۱) محاسبه و مقدار آب کاربردی برای هر کرت به‌وسیله روش حجمی- زمانی (Barati *et al*., 2017; Grimes *et al*., 1987) اندازه‌گیری شد. در این روش مقدار آب محاسبه شده به‌وسیله رابطه (۱) که بر اساس میلی‌متر بود، تبدیل به لیتر در هر کرت شد و سپس با توجه به دبی خروجی از لوله‌های تعبیه شده برای هر کرت، زمان مورد نیاز برای آبیاری آن مشخص شد. در کرت‌های مربوط به تیمار تنش آبی نیز تا مرحله گلدهی آبیاری به همین صورت انجام گرفت و پس از گلدهی آبیاری به‌طور کامل قطع شد. مقدار آب به‌کار برده شده در تیمار مطلوب و تنش آبی (قطع آبیاری پس از گلدهی) به‌ترتیب ۶۳۴/۳ و ۳۰۲/۶ میلی‌متر بود. لازم به ذکر است که پس از مرحله‌ی گلدهی تا انتهای رسیدگی بارندگی رخ نداد.

$$D = \sum_{i=1}^{n}(\theta_{fci} - \theta_i)\Delta Z_i \qquad (۱)$$

D:عمق آب آبیاری (میلی‌متر)، i : یک لایه، n: تعداد لایه‌های خاک، $\theta fci$: محتوای حجمی رطوبت خاک در حالت ظرفیت مزرعه (سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب) در i امین لایه خاک، $\theta i$: محتوای حجمی رطوبت خاک (سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب) در i مین لایه خاک، $\Delta Zi$: ضخامت هر لایه (میلی‌متر).

به‌منظور اندازه‌گیری شاخص کلروفیل برگ پرچم در مرحله شیری (کد زیداکس ۷۵) (Zadoks *et al*., 1974) از دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD) استفاده شد. بوته‌های تریتیکاله در تاریخ ۲۰ اردیبهشت به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک رسیدند. در این مرحله برای تعیین عملکرد نهایی (عملکرد دانه و زیست‌توده) و شاخص‌برداشت (نسبت عملکرد دانه به زیست‌توده) دو متر طولی دو ردیف وسط کرت با داس کف‌بر شدند (۵۰ سانتی‌متر اطراف هر کرت به‌عنوان اثر حاشیه در نظر گرفته شد). تعداد ۳۰ بوته در مرحله‌ی دو برگی به‌طور تصادفی از مرکز هر کرت انتخاب و به‌وسیله‌ی حلقه‌گذاری دور آن از سایر بوته‌ها متمایز شد و در مرحله‌ی رسیدگی فیزیولوژیک، این بوته‌ها جهت اندازه‌گیری تعداد دانه در سنبله و طول سنبله مورد استفاده قرار گرفت. هم‌چنین، تعداد پنجه‌های بارور از یک متر طولی دو ردیف وسط هر کرت مورد شمارش قرار گرفت و بر اساس آن تعداد پنجه بارور در مترمربع محاسبه گردید. برای محاسبه وزن هزار دانه (برحسب گرم) پنج دسته هزارتایی از بذور توزین و میانگین‌گیری شدند. جهت اندازه‌گیری ارتفاع بوته، ارتفاع ۱۰ بوته از هر کرت به‌صورت تصادفی اندازه‌گیری شد.

تجزیه آماری داده‌ها به‌روش تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 (SAS Institute, 2004) صورت گرفت و میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند. رسم شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

## نتایج و بحث

### شاخص کلروفیل برگ پرچم

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که شاخص کلروفیل برگ پرچم به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تاثیر کود نیتروژن قرار گرفت. مصرف ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار شاخص کلروفیل برگ پرچم را به‌ترتیب به مقدار ۳۱ و ۴۲ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۳). بر اساس نظر تایز و زایگر (Taiz and Zeiger, 2010) نیتروژن از جمله عناصر ضروری در رشد و نمو گیاهان است و نقش مهمی در شکل‌گیری مولکول‌های کلروفیل دارد. همچنین، شاخص کلروفیل برگ یک شاخص خوب از مقدار نیتروژن موجود در برگ است و با کاربرد کود نیتروژن افزایش می‌یابد (Li *et al*., 2009).

شاخص کلروفیل برگ پرچم تحت تاثیر رژیم آبیاری قرار نگرفت (جدول ۲ و ۳). اما، تنش آبی شاخص کلروفیل را به‌طور جزئی افزایش داد (جدول ۳). احتمالاً، این افزایش به دلیل کم شدن حجم سلول‌ها در شرایط تنش آبی و افزایش تراکم کلروپلاست‌ها در واحد سطح بوده است (Siosemarde *et al*., 2014). پژوهش‌های دیگری نیز افزایش شاخص کلروفیل را در گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) (Bredemeier, 2005) و گندم (Niazi-Ardakani *et al*., 2020) در شرایط تنش آبی نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی را نشان داده‌اند.

کاربرد برگی سیلیکون به‌طور معنی‌داری سبب افزایش شاخص کلروفیل برگ پرچم به میزان ۹ درصد نسبت به شرایط بدون کاربرد آن شد (جدول ۳). افزایش شاخص کلروفیل به‌واسطه‌ی مصرف سیلیکون در گندم نان و دوروم (Reza-beigi, 2019) و ذرت

(Mussa, 2006) در شرایط مطلوب و تنش نیز مشاهده شده است، که با یافته‌های این پژوهش مطابقت دارد. یین و همکاران (Yin *et al*., 2014) دلیل افزایش شاخص کلروفیل و به دنبال آن تاخیر در پیری را افزایش میزان پلی‌آمین‌ها در گیاه سورگوم تیمار شده با سیلیکون دانستند.

**ارتفاع بوته**

ارتفاع بوته به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تاثیر کود نیتروژن قرار گرفت (جدول ۲). مصرف ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار ارتفاع بوته را به‌طور معنی‌دار و به‌ترتیب به مقدار ۸۳ و ۱۰۶ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۳). فراهمی نیتروژن سبب ازدیاد تقسیم سلولی و در نهایت افزایش تعداد گره‌ها می‌شود. چنانچه در دسترس بودن نیتروژن هم‌زمان با فراهمی آب باشد، باعث طویل شدن سلول‌ها، افزایش طول میانگره‌ها و در نهایت ارتفاع بوته می‌شود (Wallace *et al*., 2017).

کاربرد برگی سیلیکون و رژیم آبیاری ارتفاع بوته را تحت تاثیر قرار ندادند (جدول ۲). علت عدم تاثیر این دو تیمار بر ارتفاع بوته، اعمال آن‌ها در مرحله‌ای از نمو گیاه (مرحله‌ی گلدهی) بود که بیشینه‌ی ارتفاع بوته وجود داشت. اگرچه نتایج برخی از پژوهشگران تاثیر مثبت سیلیکون (Gong *et al*., 2003) و تاثیر منفی تنش آبی بر ارتفاع بوته در مراحل رشد رویشی را نشان می‌دهد، نتایج مطالعه‌ی نیازی و همکاران (Niazi-Ardakani *et al*., 2020) نشان داد که اعمال تنش آبی پس از مرحله‌ی گلدهی تاثیری بر ارتفاع بوته گیاه جو نداشت.

**طول سنبله**

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که طول سنبله به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تاثیر کود نیتروژن قرار گرفت (جدول ۲). کاربرد ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار طول سنبله را به‌طور معنی‌دار و به‌ترتیب به مقدار ۱۱۳ و ۱۶۷ درصد نسبت به شاهد افرایش داد (جدول ۳). به نظر می‌رسد که افزایش فراهمی نیتروژن در مرحله‌ی برجستگی دوگانه و پس از آن در طول مرحله‌ی گل انگیزی سبب افزایش سرعت آغازش سنبلک‌ها شده و نهایتاً طول سنبله افزایش یافته و تعداد بیشتری سنبلک بالغ بر روی سنبله شکل می‌گیرد (Hay and Walker, 1989). برخی دیگر از مطالعات بر روی گندم (Ajam-Norozi *et al*., 2016) و جو (Niazi-Ardakani *et al*., 2020) نیز نشان داده‌اند که کاربرد نیتروژن در مراحل رویشی غلات سبب افزایش طول سنبله شده است.

**عملکرد دانه**

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که برهمکنش تیمار رژیم آبیاری× کود نیتروژن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد دانه (۷۰۹۸ کیلوگرم بر هکتار) مربوط به تیمار آبیاری مطلوب و استفاده از ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن بر هکتار بود و کمترین عملکرد دانه (۱۷۳۷ کیلوگرم بر هکتار) در تیمار تنش آبی و عدم استفاده از کود نیتروژن به‌دست آمد (جدول ۴). اثر برهمکنش رژیم آبیاری × کود نیتروژن نشان داد که تنش آبی عملکرد دانه را در همه سطوح کود نیتروژن نسبت به آبیاری مطلوب کاهش داد؛ اما، این کاهش در تیمارهای مختلف کودی متفاوت بود (۲۴، ۲۶ و ۴۶ درصد کاهش به‌ترتیب در شاهد، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار) (جدول ۴). بیشترین مقدار کاهش در شرایط استفاده از بالاترین سطح کاربرد کود نیتروژن رخ داد.

کاهش بیشتر عملکرد دانه به‌واسطه‌ی تنش آبی در بالاترین سطح کود نیتروژن در مقایسه با کاربرد کمتر نیتروژن، نشان داد که گیاهانی که کود نیتروژن زیادی دریافت کرده‌اند، حساسیت بیشتری به تنش خشکی داشتند. یافته‌های برخی دیگر از پژوهشگران در مورد گندم نان (Pandy *et al*., 2001a)، گندم دوروم (*Triticum durum* L.) (Ercoli *et al*., 2008) و جو (Niazi-Ardakani *et al*., 2020; Barati *et al*., 2015) نیز نتایج پژوهش حاضر در مورد تریتیکاله را تایید می‌کند. همروند با نتایج این آزمایش، فردریک و کامبراتو (Frederick and Camberato 1995) در پژوهشی بر روی گندم نان نتیجه‌گیری کردند که در شرایط مطلوب رطوبتی بالاترین عملکرد دانه با مصرف مقدارهای بالای کود نیتروژن به‌دست آمد. اما، در شرایط تنش آبی کاربرد سطوح بالای نیتروژن سبب افزایش حساسیت به تنش آبی و کاهش عملکرد دانه شد. بنابراین، با توجه به نتایج پژوهش حاضر در مورد تریتیکاله و نتایج پژوهش‌های دیگر در مورد سایر غلات، سطح بهینه‌ی کاربرد کود نیتروژن بستگی به رژیم آبیاری و فهم دقیق پاسخ گیاه به اثر متقابل آب و کود نیتروژن دارد.

اثر برهمکنش تیمار رژیم آبیاری× سیلیکون در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین عملکرد دانه (۵۰۲۱ کیلوگرم بر هکتار) مربوط به تیمار آبیاری مطلوب و کاربرد سیلیکون بود و کمترین عملکرد دانه (۲۸۶۰ کیلوگرم بر هکتار) در تیمار تنش آبی و عدم استفاده سیلیکون به‌دست آمد (جدول ۵). این برهمکنش نشان داد که تنش آبی سبب کاهش عملکرد دانه در شرایط کاربرد و عدم کاربرد سیلیکون شد. اما، مقدار کاهش در شرایط عدم کاربرد (۴۳ درصد) بیشتر از مقدار کاهش در شرایط کاربرد سیلیکون (۲۸ درصد) بود (جدول ۵). کاربرد سیلیکون بسته به این‌که در چه مرحله‌ای از رشد و نمو غلات در شرایط تنش استفاده شود، ممکن است اجزای متفاوتی از عملکرد دانه را متاثر کند. استفاده از آن در مراحل پس از گلدهی می‌تواند با کاهش اثرات مخرب تنش آبی سبب افزایش جذب عناصر، شاخص سطح برگ و دوام آن، میزان فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه شده و در نهایت بر وزن دانه و عملکرد دانه تاثیرگذار باشد.

جدول ۲- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده، شاخص برداشت، وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در مترمربع، ارتفاع بوته، طول سنبله و شاخص کلروفیل تریتیکاله

Table 2- The ANOVA's mean squares of grain yield, biomass yield, harvest index, 1000-grain weight, seed no. per spike, spike no. $m^{-2}$, plant height, spike length and chlorophyll index of triticale

| S.O.V. | منبع تغییرات | درجه آزادی d.f | شاخص کلروفیل Chlorophyll index | طول سنبله Spike length | ارتفاع بوته Plant height | تعداد سنبله مربع در متر Spike no. $m^{-2}$ | تعداد دانه در سنبله Seed no. per spike | وزن هزار دانه 1000-grain weight | شاخص برداشت Harvest index | عملکرد زیست‌توده Biomass yield | عملکرد دانه Grain yield |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Replication (R) | تکرار | 2 | 43.078 ns | 17.433 ns | 4.366 ns | 0.472 ns | 22.314 ns | 0.164 ns | 8.475 ns | 103143.8 ns | 89219.6 ns |
| Irrigation Regime (Ir) | رژیم آبیاری | 1 | 15.603 ns | 58.523 ns | 208.803 ns | 4400.111 ns | 97.023 ns | 920.212** | 873.203** | 23691745.0* | 28026436.0** |
| Error (a) | خطای (الف) | 2 | 6.616 | 4.251 | 48.466 | 643.444 | 56.470 | 0.677 | 3.001 | 854706.3 | 16120.3 |
| Silicon (Si) | سیلیکون | 1 | 180.096* | 229.523 ns | 41.603 ns | 65.610 ns | 50.647 ns | 17.098** | 91.840** | 411458.1 | 1408969.0** |
| N Fertilizer (N) | کود نیتروژن (کود) | 2 | 1029.770** | 12538.233** | 9589.893** | 138859.524** | 674.569** | 41.836** | 80.301** | 355261446.0** | 40628495.3** |
| Ir × Si | رژیم آبیاری × سیلیکون | 1 | 1.232 ns | 7.563 ns | 11.903 ns | 51.840 ns | 7.023 ns | 25.959** | 33.063** | 2234177.9* | 1089936.0* |
| Ir × N | رژیم آبیاری × کود | 2 | 3.658 ns | 5.048 ns | 37.353 ns | 402.041 ns | 14.661 ns | 47.980** | 31.303** | 8024874.2** | 5672250.3** |
| Si × N | سیلیکون × کود | 2 | 6.109 ns | 35.648 ns | 7.898 ns | 837.103 ns | 2.586 ns | 0.643 ns | 0.021 ns | 18301.3 ns | 37657.8 ns |
| Ir × Si × N | رژیم آبیاری × سیلیکون × کود | 2 | 0.389 | 0.423 ns | 5.948 ns | 1677.330 ns | 3.626 ns | 3.406 ns | 0.223 ns | 247662.0 ns | 81999.8 ns |
| Error (b) | خطای (ب) | 20 | 24.123 | 68.513 | 31.547 | 1023.004 | 14.852 | 1.956 | 3.879 | 436362.8 | 167781.7 |
| CV€ (%) | ضریب تغییرات | - | 9.3 | 11.3 | 6.9 | 8.8 | 12.1 | 4.0 | 5.3 | 5.3 | 9.8 |

ns، *، ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns,* and ** are non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

€: Coefficient of variation.

جدول ۳- اثرات رژیم آبیاری، کود نیتروژن و سیلیکون بر شاخص کلروفیل، طول سنبله، ارتفاع بوته، تعداد سنبله در مترمربع و تعداد دانه در سنبله تریتیکاله

**Table 3- Effects of irrigation regime, N fertilizer and silicon on chlorophyll index, spikes length, plant height, spike no. $m^{-2}$ and seed no. per spike of triticale**

| Irrigation regime | رژیم آبیاری | شاخص کلروفیل Chlorophyll index | طول سنبله Spike length (mm) | ارتفاع بوته Plant height (cm) | تعداد سنبله در مترمربع Spike no. $m^{-2}$ | تعداد دانه در سنبله Grain no. per spike |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Without water stress | بدون تنش آبی | 52.2 a | 74.7 a | 83.9 a | 374.1 a | 33.6 a |
| With water stress | با تنش آبی | 53.6 a | 72.1 a | 79.1 a | 352.0 a | 30.3 a |
| **N fertilizer** | **کود نیتروژن** | | | | | |
| $N_0$ | شاهد£ | 42.6 c | 38.0 c | 49.6 c | 242.5 c | 23.4 b |
| $N_{100}$ | ۱۰۰ ££ | 55.6 b | 81.0 b | 91.5 b | 397.7 b | 34.9 a |
| $N_{150}$ | ۱۵۰ ¥ | 60.5 a | 101.3 a | 103.4 a | 449.1 a | 37.5 a |
| **Silicon application** | **کاربرد سیلیکون** | | | | | |
| 0 mM | شاهد | 50.7 b | 70.9 a | 80.4 a | 364.4 a | 30.7 a |
| 3 mM | ۳ میلی‌مولار | 55.1 a | 75.9 a | 82.5 a | 361.7 a | 33.1 a |

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. £: صفر کیلوگرم نیتروژن بر هکتار (شاهد)، ££: ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار، ¥: ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار.

Means in each column followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using Duncan's multiple range test. $N_0$, no nitrogen fertilizer (control); $N_{100}$, 100 kg N $ha^{-1}$; $N_{150}$, 150 kg N $ha^{-1}$ and mM, millimolar.

جدول ٤- اثر برهمکنش رژیم آبیاری× کود نیتروژن بر وزن هزار دانه، عملکرد زیست‌توده، شاخص برداشت و عملکرد دانه تریتیکاله

**Table 4- Interaction effect of irrigation regime × nitrogen on 1000-grain weight, biomass yield, harvest index and grain yield of triticale**

| رژیم آبیاری Irrigation regime | N fertilizer | کود نیتروژن | وزن هزار دانه 1000-grain weight (g) | عملکرد زیست‌توده Biomass yield ($kg.ha^{-1}$) | شاخص برداشت Harvest index (%) | عملکرد دانه Grain yield ($kg.ha^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| بدون تنش آبی Without water stress | $N_0$ | شاهد£ | 40.2 a | 5342 d | 43.2 a | 2301 d |
| | $N_{100}$ | ۱۰۰ ££ | 40.2 a | 13350 bc | 41.9 a | 5592 b |
| | $N_{150}$ | ۱۵۰ ¥ | 40.4 a | 17228 a | 41.2 a | 7098 a |
| با تنش آبی With water stress | $N_0$ | شاهد£ | 33.1 b | 4756 d | 36.2 b | 1737 e |
| | $N_{100}$ | ۱۰۰ ££ | 31.6 b | 12576 c | 32.7 c | 4128 c |
| | $N_{150}$ | ۱۵۰ ¥ | 25.8 c | 13720 b | 28.0 d | 3833 c |

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند. £: صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار (شاهد)، ££: ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار، ¥: ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار.

The Means in each column followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using Duncan's multiple range test. $N_0$, no nitrogen fertilizer (control); $N_{100}$, 100 $kgN.ha^{-1}$; $N_{150}$, 150 $kgN.ha^{-1}$.

در شرایط بدون تنش آبی، عملکرد دانه بیشترین همبستگی را با تعداد سنبله بارور در متر مربع ($^{**}$۰/۹۱۲) و سپس در مرتبه‌ی بعدی با تعداد دانه در سنبله ($^{**}$۰/۷۲۷) داشت. در مقابل در شرایط با تنش آبی، عملکرد دانه بیشترین همبستگی را با وزن هزار دانه ($^{*}$۰/۶۸۹) و سپس در مرتبه بعدی با تعداد دانه در سنبله ($^{ns}$۰/۴۳۸) نشان داد (جدول ۶).

جدول ۵- اثر برهم‌کنش رژیم آبیاری× کاربرد سیلیکون بر وزن هزار دانه، عملکرد زیست‌توده، شاخص برداشت و عملکرد دانه تریتیکاله

Table 5- Interaction effect of irrigation regime × silicon application on 1000-grain weight, biomass yield, harvest index and grain yield of triticale

| رژیم آبیاری Irrigation regime | کاربرد سیلیکون Silicon application | وزن هزار دانه 1000-grain weight (g) | عملکرد زیست‌توده Biomass yield ($kg.ha^{-1}$) | شاخص برداشت Harvest index (%) | عملکرد دانه Grain yield ($kg.ha^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|
| بدون تنش آبی Without water stress | بدون سیلیکون£ Without silicon | 40.4 a | 12115 a | 41.5 a | 4973 a |
| | با سیلیکون££ With silicon | 40.1 a | 11831 a | 42.7 a | 5021 a |
| با تنش آبی With water stress | بدون سیلیکون£ Without silicon | 28.6 d | 9994 c | 29.7 c | 2860 c |
| | با سیلیکون££ With silicon | 31.7 c | 10706 b | 34.8 b | 3604 b |

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند. £: صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار (شاهد)، ££: ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار، ¥: ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار

The Means in each column followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using Duncan's multiple range test. $N_0$, no nitrogen fertilizer (control); $N_{100}$, 100 kg N $ha^{-1}$; $N_{150}$, 150 kg N $ha^{-1}$

**تعداد سنبله بارور در متر مربع**

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر کود نیتروژن بر تعداد سنبله بارور در مترمربع در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. کاربرد ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار تعداد سنبله در مترمربع را نسبت به شاهد به‌طور معنی‌دار و به‌ترتیب به مقدار ۶۴ و ۸۵ درصد افزایش داد. بیشترین تعداد سنبله بارور در مترمربع (۴۴۹/۱) در بالاترین سطح کود نیتروژن حاصل شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار و شاهد داشت (جدول ۳). افزایش میزان نیتروژن در دسترس گیاه در مراحل برجستگی دوگانه و گل‌انگیزی باعث تحریک رشد رویشی و افزایش پنجه‌زنی در بوته می‌گردد (Hay and Walker, 1989).

تنش آبی تعداد سنبله در مترمربع را نسبت به تیمار آبیاری مطلوب به‌طور جزئی (۶ درصد) کاهش داد (جدول ۳). تنش‌های آبی در مراحله‌ی رویشی سبب ایجاد اختلال در تمایز یافتن پنجه‌ها و یا سقط شدن پنجه‌های نو ظهور می‌شود (McMaster *et al*., 1994). همچنین، کمبود رطوبت در مرحله‌ی گلدهی، تعداد پنجه‌های بارور را احتمالاً به‌دلیل عدم تلقیح مناسب گلچه‌ها کاهش می‌دهد (Barati and Ghadiri, 2016). اما، در آزمایش حاضر تنش آبی پس از مرحله‌ی گلدهی اعمال شد. بنابراین، تأثیر جزئی و غیرمعنی‌دار بر تعداد سنبله در مترمربع گذاشت.

**تعداد دانه در سنبله**

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کود نیتروژن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین تعداد دانه در سنبله مربوط به تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار (۳۷/۵ دانه در سنبله) و کمترین آن مربوط به شاهد نیتروژن (۲۳/۴ دانه در سنبله) بود (جدول ۳). تعداد گلچه‌ها در هر سنبله در فاصله‌ی زمانی بین مرحله‌ی طویل شدن ساقه و ظهور سنبله تعیین می‌شود (Li *et al*., 2001). بنابراین، تعداد دانه در سنبله می‌تواند تحت تاثیر دسترسی به آب و نیتروژن در این دوره باشد. اما، برخی دیگر از پژوهشگران (Christen *et al*., 1995; Bindraban *et al*., 1998) معتقدند که حساس‌ترین مرحله‌ی تاثیرپذیری تعداد دانه در سنبله از عوامل محیطی حد فاصل مرحله‌ی ظهور برگ پرچم تا انتهای گلدهی است. در آزمایش حاضر با این‌که تنش آبی پس از مرحله‌ی گلدهی اعمال شد، اما کاهش جزئی تعداد دانه در سنبله می‌تواند ناشی از تاثیر تنش آبی بر سنبله‌های نو ظهور ثانویه‌ای باشد که در قسمت‌های پایینی گیاه شکل گرفته‌اند.

**وزن هزار دانه**

وزن هزار دانه به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر برهم‌کنش رژیم آبیاری و کود نیتروژن قرار گرفت (جدول ۲). برهم‌کنش تیمار آبیاری× کود نیتروژن نشان داد که در شرایط آبیاری مطلوب، کاربرد کود نیتروژن تاثیر معنی‌داری بر وزن هزار دانه نداشت. اما، در شرایط تنش آبی، کاربرد بالاترین سطح کود نیتروژن (۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار) وزن هزار دانه را به‌طور معنی‌دار و به مقدار ۲۲ درصد نسبت به شاهد نیتروژن کاهش داد (جدول ۴). بررسی این برهمکنش از منظری دیگر، نشان داد که تنش آبی سبب کاهش وزن هزار دانه شد. اما، این کاهش در تیمارهای مختلف کود نیتروژن متفاوت بود (۱۸، ۲۱ و ۳۶ درصد به‌ترتیب در تیمار شاهد، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار) که بیشترین کاهش در بالاترین سطح کود نیتروژن رخ داد (جدول ۴).

معمولاً، کاهش وزن هزار دانه در مناطقی که با تنش رطوبتی انتهایی روبه‌رو هستند، به علت محدودیت منبع رخ می‌دهد. کاربرد سطوح بالای کود نیتروژن به‌واسطه‌ی افزایش سطح برگ و به دنبال آن افزایش سرعت تخلیه‌ی رطوبت از پروفیل خاک سبب تشدید اثرات مخرب تنش آبی انتهای فصل می‌شود (Frederick and Camberato, 1994). این تنش آبی تشدید شده سبب کاهش بیشتر میزان فتوسنتز و انتقال مجدد مواد پرورده از اندام‌های رویشی به دانه شده و در نهایت سبب کاهش بیشتر وزن هزار دانه خواهد شد (Frederick and Camberato, 1994; Ercoli *et al*., 2008).

همبستگی بین عملکرد دانه با وزن هزار دانه در شرایط تنش آبی (*۰/۶۸۹) معنی‌دار و بیشتر از همبستگی آن با تعداد دانه در سنبله (۰/۴۳۸ns) و تعداد پنجه بارور در متر مربع (ns۰/۰۵۶-) بود (جدول ۶). این نتایج نشان می‌دهد که کاهش عملکرد به‌واسطه‌ی تنش آبی اساساً به‌واسطه‌ی کاهش در وزن هزار دانه است. این نتیجه‌گیری منطقی به نظر می‌رسد. زیرا، با قطع آبیاری پس از گلدهی، تنش آبی در مراحل پیشرفته‌تری از زندگی گیاه که پنجه‌های درجه دو یا سه در حال شکل‌گیری هستند، تشدید شده و در چنین شرایطی دانه‌های شکل گرفته در این پنجه‌ها نمی‌توانند به‌طور کامل پر شوند و در نهایت وزن دانه‌ها و عملکرد دانه کاهش می‌یابد. از دیگر عوامل کاهنده‌ی وزن هزار دانه کاهش تعداد سلول‌های اندوسپرم به‌واسطه کمبود آسیمیلات در شرایط تنش است (Voltas *et al*., 1997). علاوه بر این، اختلال در انتقال و یا انتقال مجدد آسیمیلات به دانه‌ها یا محدود شدن طول دوره‌ی انتقال از عوامل کاهش وزن دانه‌ها است (Voltas *et al*., 1998).

جدول ٦- همبستگی ساده بین عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن در شرایط متفاوت رطوبتی

Table 6- Simple correlation between grain yield and its related traits under different irrigation regimes

| عملکرد زیست‌توده Biomass yield ($kg. ha^{-1}$) | شاخص برداشت Harvest index (%) | وزن هزار دانه 1000-grain weight (g) | تعداد دانه در سنبله Seed no. per spike | تعداد سنبله بارور مربع در متر Spike no. $m^{-2}$ | ارتفاع بوته Plant height (cm) | طول سنبله Spike length (mm) | شاخص کلروفیل Chlorophyll index | رژیم آبیاری Irrigation regime |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $0.930^{**}$ | $0.175^{ns}$ | $0.361^{ns}$ | $0.727^{**}$ | $0.912^{**}$ | $0.960^{**}$ | $0.951^{**}$ | $0.755^{**}$ | بدون تنش آبی without water stress |
| $0.492^{ns}$ | $0.872^{**}$ | $0.689^{*}$ | $0.438^{ns}$ | $-0.056^{ns}$ | $0.392^{ns}$ | $0.162^{ns}$ | $0.533^{ns}$ | با تنش آبی with water stress |

ns، *، ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns,* and ** are non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

### عملکرد زیست‌توده و شاخص برداشت

عملکرد زیست‌توده به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر برهم‌کنش رژیم آبیاری× کود نیتروژن قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین عملکرد زیست‌توده در تیمار آبیاری مطلوب و بالاترین سطح کود نیتروژن (۱۷۲۲۸ کیلوگرم بر هکتار) و کمترین عملکرد زیست‌توده نیز در تیمار تنش آبی و شاهد نیتروژن (۴۷۵۶ کیلوگرم بر هکتار) به‌دست آمد (جدول ۴). بررسی این برهمکنش نشان داد که تنش آبی سبب کاهش عملکرد زیست‌توده در همه سطوح کود نیتروژن شد. اما، مقدار این کاهش‌ها در سطوح مختلف کود نیتروژن یکسان نبود (۱۱، ۶ و ۲۰ درصد به‌ترتیب در تیمار شاهد، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار) که بیشترین کاهش در بالاترین سطح کود نیتروژن رخ داد (جدول ۴). کاهش عملکرد زیست‌توده به‌واسطه‌ی تنش آبی شدید پس از گلدهی می‌تواند به‌واسطه‌ی کاهش فتوسنتز در این شرایط باشد (Wall *et al*., 2011). همروند با نتایج این مطالعه، برخی دیگر از پژوهشگران نیز کاهش مقدار عملکرد زیست‌توده به علت تنش آبی پس از گلدهی را گزارش کرده‌اند (Niazi-Ardakani *et al*., 2020). کاهش بیشتر عملکرد زیست‌توده در بالاترین سطح کود نیتروژن را می‌توان به حساسیت بیشتر گیاه و محدودیت بیشتر فتوسنتز نسبت داد (Frederick and Camberato 1995).

برهمکنش رژیم آبیاری× سیلیکون بر عملکرد زیست‌توده در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). این برهمکنش نشان داد که تنش آبی سبب کاهش معنی‌دار عملکرد زیست‌توده در شرایط کاربرد و عدم کاربرد سیلیکون شد. اما، مقدار کاهش در شرایط کاربرد و عدم کاربرد متفاوت بود (۱۰ و ۱۸ درصد به‌ترتیب در شرایط کاربرد و عدم کاربرد سیلیکون). کاهش کمتر در شرایط استفاده از سیلیکون نشان از تحمل بیشتر بوته‌ها به تنش آبی و فتوسنتز بیشتر بوده‌است. برخی دیگر از پژوهشگران از جمله گانگ و همکاران (Gong *et al*., 2005) نیز مشاهده کردند که تنش رطوبتی سبب کاهش فتوسنتز شد.

اما، استفاده از سیلیکون اثر تنش رطوبتی را کاهش داده و میزان فتوسنتز در شرایط تنش آبی را افزایش داد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش رژیم آبیاری× کود نیتروژن در سطح احتمال یک درصد بر شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۲). این برهمکنش نشان داد که کاربرد سطوح مختلف کود نیتروژن سبب کاهش شاخص برداشت نسبت به شاهد نیتروژن در هر دو شرایط رطوبتی شد. مقدار این کاهش در شرایط مطلوب رطوبتی جزئی و غیر معنی‌دار بود. اما، در شرایط تنش آبی، شدید و معنی‌دار بود (۱۰ و ۲۳ درصد در شرایط کاربرد به‌ترتیب ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار) (جدول ۴). کاهش شدید شاخص برداشت به‌واسطه‌ی کاربرد سطح بالای کود نیتروژن نسبت به شاهد نیتروژن در شرایط تنش آبی ممکن است به پدیده‌ی "hay off" نسبت داده شود. این پدیده زمانی رخ می‌دهد که مقدار زیاد کود نیتروژن در مراحل رویشی غلات و در شرایط محدودیت آب در انتهای فصل به‌کار برده شود. در چنین شرایطی زیست‌توده زیادی شکل گرفته و آب موجود در پروفایل خاک زودتر تخلیه شده و مراحل انتهایی گیاه با تنش شدیدتری روبه‌رو خواهد شد (Van Herwaarden *et al*., 1998). این تنش شدیدتر سبب کاهش بیشتر فتوسنتز و محدودیت در انتقال و انتقال مجدد مواد پرورده به دانه‌ها شده و باعث کاهش وزن آن‌ها خواهد شد و در نهایت نسبت وزن دانه به زیست‌توده (شاخص برداشت) کاهش بیشتری می‌یابد.

شاخص برداشت به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر برهم‌کنش رژیم آبیاری × سیلیکون قرار گرفت (جدول ۲). در این برهمکنش، تنش آبی شاخص برداشت را هر دو تیمار با کاربرد و بدون کاربرد سیلیکون کاهش داد (به‌ترتیب ۱۹ و ۲۸ درصد ). اما، مقدار کاهش در شرایط استفاده از سیلیکون کمتر بود (جدول ۵). کاهش شدت تنش پس از گلدهی به‌واسطه‌ی استفاده از سیلیکون سبب افزایش عملکرد دانه در هر پنجه شده و در نهایت شاخص برداشت را افزوده است. همروند با این مطالعه، برخی دیگر از پژوهشگران (Reza-beigi, 2019) نیز افزایش شاخص برداشت گندم نان و دوروم در شرایط تنش آبی به‌واسطه‌ی کاربرد سیلیکون را گزارش کرده‌اند.

## نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که تنش آبی تعداد پنجه بارور در متر مربع، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه را کاهش داد. اما، این کاهش در وزن هزار دانه شدید و در بالاترین سطح کود نیتروژن در مقایسه با سایر سطوح نیتروژن بیشترین (۳۶ درصد) بود. کاربرد برگی سیلیکون سبب کاهش اثرات تنش و در نتیجه بهبود وزن هزار دانه، شاخص کلروفیل، عملکرد زیست‌توده و در نهایت شاخص برداشت و عملکرد دانه شد. عملکرد دانه در شرایط تنش آبی و عدم کاربرد سیلیکون با ۴۳ درصد کاهش نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی به ۲۸۶۰ کیلوگرم بر هکتار رسید. در صورتی‌که در شرایط کاربرد ۳ میلی‌مولار سیلیکون در مرحله‌ی گلدهی کاهش عملکرد دانه ۲۸ درصد نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی بود و عملکرد دانه به ۳۶۰۴ کیلوگرم بر هکتار رسید. بنابراین، با توجه به نتایج، کاربرد برگی سیلیکون در مرحله‌ی گلدهی در مناطق جنوب استان فارس که مستعد تنش آبی پس از گلدهی هستند، قابل توصیه است. در شرایط مطلوب رطوبتی، بیشترین عملکرد دانه در سطح ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن به‌دست آمد (۷۰۹۸ کیلوگرم بر هکتار). تنش آبی عملکرد دانه را در سطوح مختلف نیتروژن به‌طور متفاوتی کاهش داد (۲۴، ۲۶ و ۴۶ درصد کاهش به‌ترتیب در شاهد، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار). بنابراین، با توجه به افزایش حساسیت بوته‌ها به تنش آبی در بالاترین سطوح کود نیتروژن، کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار در شرایط قطع آبیاری پس از گلدهی برای دستیابی به بالاترین عملکرد تریتیکاله (۴۱۲۸ کیلوگرم بر هکتار) توصیه می‌شود.

## References


1. Ajam-norozi, H., Dadashi, M. R., Faraji, A., Mosanaiey, H., and Pessarakli, M. 2016. The simultaneous effect of seed quality, plant density, and nitrogen fertilizer on physiological and yield characteristics of wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research 11 (44): 20-32. (in Persian with English abstract).
2. Alizadeh, A. 2001. Soil-water-plant relationship. Emam Reza University, Mashhad, Iran. (in Persian).
3. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration. Guide lines for computing crop water requirements (Irrigation and Drainage Paper 56) Food and Agriculture Organization, Rome.
4. Barati, V., and Ghadiri, H. 2016. Effects of drought stress and nitrogen fertilizer on yield, yield components and protein content of two barley cultivars. Journal of Crop Production and Processing 6 (20): 191-207. (in Persian with English abstract).
5. Barati, V., and Ghadiri, H. 2017. Assimilate and nitrogen remobilization of six-rowed and two-rowed winter barley under drought stress at different nitrogen fertilization. Archives of Agronomy and Soil Science 63 (6): 841-855.

6. Barati, V., Ghadiri, H., Zand-Parsa, S., and Karimian, N. 2015. Nitrogen and water use efficiencies and yield response of barley cultivars under different irrigation and nitrogen regimes in a semi-arid mediterranean climate. Archives of Agronomy and Soil Science 61 (1): 15-32.
7. Bindraban, P. S., Sayre, K. D., and Soils-Moya, E. 1998. Identifying factors that determine kernel number in wheat. Field Crops Research 58: 223-234.
8. Bredemeier, C. 2005. Laser-induced chlorophyll fluorescence sensing as a tool for site-specific nitrogen fertilizer evaluation under controlled environmental and field conditions in wheat and maize. Ph.D. Dissertation, Technical University of Munich, Germany.
9. Christen, O., Sieling, K., Richter-Harder, H., and Hanus, H. 1995. Effects of temporary water stress before anthesis on growth, development and grain yield of spring wheat. European Journal of Agronomy 4: 27-36.
10. Ercoli, L., Lulli, L., Mariotti, M., Masoni, A., and Arduini, I. 2008. Post-anthesis dry matter and nitrogen dynamics in durum wheat as affected by nitrogen supply and soil water availability. European Journal of Agronomy 28: 138-147.
11. Fallah, A., Visperas, R. M., and Alejar, A. A. 2004. The interactive effect of silicon and spikelet filling in rice (*Oryza sativa* L.). Philippine Agricultual Scientist 87: 174-176.
12. Frederick, J. R., and Camberato, J. J. 1994. Leaf net $CO_2$-exchange rate and associated leaf traits of winter wheat grown with various spring nitrogen fertilization rates. Crop Science 34: 432-439.
13. Fredrick, J. R., and Camberato, J. J. 1995. Water and nitrogen effects on winter wheat Southeastern central plain. I. Grain yield and kernel traits. Agronomy Journal 87: 521-526.
14. Gong, H. J., Chen, K. M., Chen, G. C., Wang, S. M., and Zhang, C. L. 2003. Effects of silicon on growth of wheat under drought. Journal of Plant Nutrition 26: 1055-1063.
15. Gong, H. J., Zhu, X. Y., Chen, K. M., Wang, S., and Zhang, C. L. 2005. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. Journal of Plant Science 169: 313-321.
16. Grimes, D., Yamada, H., and Hughes, S. 1987. Climate-normalized cotton leaf water potentials for irrigation scheduling. Agricultural Water Management 12: 293-304.
17. Hanson, B., Schwankl, L., and Fulton, A. 2004. Scheduling Irrigation: When and How Much Water to Apply. Department of Land, Air and Water Resources, University of California, Davis, California, USA.
18. Hattori, T., Inanaga, S., Araki, H., An, P., Morita, S., Luxova, M., and Lux, A. 2005. Application of silicon enhanced drought tolerance in *Sorghum biocolour*. Physiologia Plantarum 123 (4): 459-466.
19. Hay, R. K. M., and Walker, A. J. 1989. An introduction to the physiology of crop yield. Longman Scientific and Technical, Harlow, England.
20. Latiri-Souki, K., Nortcliff, S., and Lawlor, D. W. 1998. Nitrogen fertilizer can increase dry matter, grain production and radiation and water use efficiencies for durum wheat under semi-arid conditions. European Journal of Agronomy 9: 21-34.
21. Li, C., Cao, W., and Dai, T. 2001. Dynamic characteristics of floret primordium development in wheat. Field Crops Research 71: 71-76.
22. Li, S. X., Wang, Z. H., Malhi, S. S., Li, S. Q., Gao, Y. J., and Tian, X. H. 2009. Nutrient and water management effects on crop production, and nutrient and water use efficiency in dryland Areas. Advance in Agronomy 102: 223-265.
23. Mc-Master, G. S., Wilhelm, W.W., and Bartling, P. N. S. 1994. Irrigation and culm contribution to yield and yield components of winter wheat. Agronomy Journal 86 : 1123-1127.
24. Mussa, H. R. 2006. Influence of exogenous application of silicon on physiological response of salt stressed maize (*Zea mayz* L.). Agriculture and Biology Journal 2: 293-297.
25. Niazi-ardakani, M., Barati, V., Bijanzadeh, E., and Behpoori, A. 2020. Effects of different nitrogen fertilizer sources and crop residues on yield and yield components of barley (*Hordeum vulgare* L.) under late season water stress conditions. Agroecology 12 (1): 107-126. (in Persian with English abstract).
26. Pandey, R. K., Maranville, J. W., and Admou, A. 2001. Tropical wheat response to irrigation and nitrogen in a Sahelian environment. I. Grain yield, yield components and water use efficiency. European Journal of Agronomy 15: 93-105.
27. Reza-beigi, S. 2019. Effect of foliar application of silicon on yield and yield components of wheat cultivars under late season water stress. M.Sc. Thesis, Shiraz University.
28. SAS. 2004. Statistical analysis software. Version 9. Cary (NC): SAS Institute.
29. Siosemarde, A., Fateh, H., and Badakhshan H., 2014. Responses of photosynthesis, cell membrane stability and antioxidative enzymes to drought stress and nitrogen fertilizer in two barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars under controlled condition. Iranian Journal of Field Crops Research 12 (2): 215-228. (in Persian with English abstract).
30. Taiz, L., and Zeiger, E. 2010. Plant physiology. Sinauer Associates, Sunderland, Mass.
31. Tale, A., and Haddad, R. 2011. Study of silicon effects on antioxidant enzyme activities and osmotic adjustment of wheat under drought stress. Czech Journal of Genetics and Plant Breeding 47: 17-27.

32. Van Herwaarden, A., Farquhar, G., Angus, J., Richards, R., and Howe, G. 1998. 'Haying-off', the negative grain yield response of dryland wheat to nitrogen fertilizer. I. Biomass, grain yield, and water use. Australian Journal of Agricultural Research 49: 1067-1082.
33. Voltas, J., Romagosa, I., and Araus, J. L. 1997. Grain size and nitrogen accumulation in sink-reduced barley under Mediterranean conditions. Field Crops Research 52: 117-126.
34. Voltas, J., Romagosa, I., and Araus, J. L. 1998. Growth and final weight of central and lateral barley grains under Mediterranean conditions as influenced by sink strength. Crop Science 38: 84-89.
35. Wall, G. W., Garcia, R. L., Wechsung, F., and Kimball, B. A. 2011. Elevated atmospheric $CO_2$ and drought effects on leaf gas exchange properties of barley. Agriculture, Ecosystem and Environment 144: 390-404.
36. Wallace, J., Frick, B. L., Telford, L., and Martens, J. T. 2017. Organic Field Crop Handbook. Canadian Organic Growers, Ottawa, Ontario, Canada.
37. Yin, L. N., Wang, S. W., Liu, P., Wang, W. H., Cao, D., Deng, X. P., and Zhang, S. Q. 2014. Silicon mediated changes in polyamine and 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid are involved in silicon-induced drought resistance in *Sorghum biocolor* L. Plant Physiology and Biochemistry 80: 268-277.
38. Zadoks, J. C., Chang, T. T., and Konzak, C. F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Research 14: 415-421.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 4, Winter. 2021, p. 435-449

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، ص. ۴۴۹-۴۳۵

# Grain Yield and its Components of Triticale as Affected by Silicon Foliar Application, Nitrogen Fertilizer and Water Stress in Reproductive Phase

**V. Barati[1*], E. Bijanzadeh[2]**

Received: 27-08-2020
Accepted: 03-01-2021

**Introduction**

In the dry climate of southern Iran including Fars province, most precipitation occurs in winter, thus winter cereals such as triticale (*Triticosecale* Wittmack) experience water shortage at booting, flowering and grain filling stages in spring. The booting, flowering and grain filling periods are the most sensitive stages to water deficit. Nitrogen fertilizer application is a farmer's common practice to increase yield, but its performance depends mainly on soil water status than the amount and timing of N applications. On the other hand, matching N fertilization with crop water availability is essential for achieving acceptable grain yield. Farmers of southern Iran use N fertilizer beyond the recommended rate. High N fertilizer application in dry areas that water availability limitations frequently occurred during the grain filling stage of cereals increased severity of water stress. Some authors reported that the silicon application reduces the destructive effects of drought stress by physiological, biochemical, and physical mechanisms (Hattori *et al*., 2005). Therefore, silicon foliar application may decrease water stress severity, especially in high N crops. Therefore, the aims of this study were to investigate the effects of silicon foliar application, different N rates and irrigation regimes on triticale yield in an arid area of southern Iran (Fars province).

**Materials and Methods**

This research was conducted at the experimental farm of the Darab Agricultural Faculty of Shiraz University. A split factorial experiment in a randomized complete block design with three replications was carried out in the 2017-2018 growing season. Treatments included two levels of irrigation as the main plots [normal irrigation; irrigation based on the plant's water requirement up to the physiological maturity ($IR_N$) and deficit irrigation; irrigation based on the plant's water requirement up to the anthesis stage (cutting of irrigation after anthesis) ($IR_{DI}$)]. Also, sub plots were two levels of silicon foliar application [0, and 3 mM] and three N fertilizer levels [$N_0$, no nitrogen fertilizer (control); $N_{100}$, 100 kg N ha$^{-1}$; $N_{150}$, 150 kg N ha$^{-1}$]. Biological yield, grain yield, yield components, plant height, spike length and chlorophyll index of flag leaf were measured. Then, the harvest index (HI) was calculated. Data were analyzed by using SAS 9.1 software (SAS Institute, 2004) and the means were compared using Duncan's multiple range test at 5% probability level.

**Results and Discussion**

The results showed that the $IR_{DI}$ could cause severe water stress in the grain-filling period of the triticale life cycle and consequently reduction of 1000-grain weight, number of grains per spike and number of fertile tillers per m$^2$. However, this reduction was more severe for 1000- grain weight than the other grain yield components and was not constant in different N fertilizer levels (18%, 21% and 36% reduction for $N_0$, $N_{100}$ and $N_{150}$ kg N ha$^{-1}$). Foliar silicon application decreased severity of late-season water stress and consequently improved 1000-seed weight, chlorophyll index, biological yield and finally HI and grain yield. With respect to grain yield, under $IR_N$ conditions, the highest grain yield was achieved by $N_{150}$. Water stress decreased grain yield as a function of N fertilizer (24%, 26% and 46% reduction for $N_0$, $N_{100}$ and $N_{150}$ kg N ha$^{-1}$). Therefore, application of $N_{100}$ could be acceptable for $IR_{DI}$ conditions.

**Conclusions**

According to the results of this study, the highest triticale grain yield (7098 kg ha$^{-1}$) achieved by N150 in normal irrigation. The IRDI significantly decreased triticale grain yield at all N levels as compared with IRN. However, this reduction was different in N fertilizer rates (24%, 26% and 46% reduction for N0, N100 and N150). Therefore, the highest grain yield under IRDI conditions (4128 kg ha$^{-1}$) was observed in N100. Therefore, with respect to environmental and economical considerations application of 100 and 150 kg N ha$^{-1}$ were recommended for late-season water stress and normal irrigation conditions, respectively. Silicon foliar application decreased the severity of water stress and consequently increased grain yield (26%) under IRDI

1- Assistant Professor of Agro-Ecology Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Shiraz
2- Associate Professor of Agro-Ecology Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Shiraz
(*- Corresponding Author Email: v.barati@shirazu.ac.ir)

conditions. Therefore, the application of 3 mM of silicon at the anthesis stage is recommended for farms of triticale that expose to late-season water stress in southern Iran (Fars province).

**Keywords:** Biomass yield, Chlorophyll, Harvest index, Mean kernel weight